

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200327018

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

北太平洋与同安湾若干海洋学过程的同位素示踪

Isotope Tracers for Marine Processes
in the North Pacific and the TongAn Bay

杨俊鸿

指导教师姓名: 陈 敏 教授

专 业 名 称: 海 洋 化 学

论文提交日期: 2007 年 1 月

论文答辩时间: 2007 年 2 月

学位授予日期: 2007 年 2 月

答辩委员会主席: 陈松 研究员

评 阅 人: 陈松 研究员

黄奕普 教授

2007 年 1 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（√），在 三 年解密后适用本授权书

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

目 录

摘 要	1
Abstract.....	2
第一章 绪 论	4
1.1 海洋环境中的放射性核素	4
1.2 海洋环境中镭同位素的地球化学行为	5
1.3 镭同位素在海洋学上的应用	6
1.3.1 海洋环境中镭同位素含量与分布的研究.....	7
1.3.2 海洋环境中镭同位素地球化学行为的研究.....	8
1.3.3 镭同位素在物理海洋学研究中的应用.....	9
1.3.4 镭同位素的源、汇及交换通量的研究.....	11
1.3.5 镭同位素在生产力研究方面的应用.....	12
1.3.6 镭同位素在海底地下水输入（SGD）方面的研究.....	13
1.3.7 镭同位素在沉积物地球化学、放射年代学、海—气界面气体交换速率的研究.....	14
1.4 深海沉积物放射性核素的研究	15
1.5 本研究目标及内容	15
第二章 研究方法.....	17
2.1 海水中镭同位素的富集方法	17
2.2 海水中镭同位素的分析方法	17
2.2.1 α 能谱法.....	17
2.2.2 β 计数法.....	18
2.2.3 γ 能谱法.....	18
2.3 ^{224}Ra 测定.....	19
2.3.1 ^{224}Ra 分析流程	19
2.3.2 ^{224}Ra 装置系数的确定	21

2.4 ^{226}Ra 测定	22
2.4.1 ^{226}Ra 分析流程	22
2.4.2 ^{226}Ra 装置系数的确定	23
2.4.3 MnO_2 -纤维对海水中 ^{226}Ra 的富集效率	24
2.5 ^{228}Ra 测定	25
2.6 沉积物放射性核素含量的 γ 能谱测量	29
第三章 热带与亚热带北太平洋表层水 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 的分布及其海洋学意义	30
3.1 引言	31
3.2 样品采集与分析	35
3.2.1 样品采集	35
3.2.2 样品测量	35
3.2.2.1 ^{226}Ra 测定	35
3.2.2.2 ^{228}Ra 测定	36
3.2.2.3 硅酸盐测定	37
3.3 结果	41
3.3.1 表层盐度及其空间变化	41
3.3.2 ^{226}Ra 比活度及其空间变化	41
3.3.3 ^{228}Ra 比活度及其空间变化	44
3.3.4 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 及其空间变化	46
3.3.5 SiO_3^{2-} 含量及其空间变化	47
3.4 讨论	47
3.4.1 ^{226}Ra 比活度与活性硅酸盐之间的相关关系	47
3.4.2 近 40 年来北太平洋亚热带环流区生态系变化的 ^{226}Ra 证据	48
3.4.2.1 近 40 年来北太平洋亚热带环流区表层水 ^{226}Ra 含量的变化	50
3.4.2.2 SiO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 、Chl.a 和初级生产力的时间变化特征	51
3.4.2.3 近 40 年北太平洋亚热带环流区 ^{226}Ra 含量变化的可能机制	53
3.4.2.4 近 40 年北太平洋亚热带环流区表层水 SiO_3^{2-} 含量降低的平均速率	53

3.4.3 近 40 年来北太平洋亚热带环流区表层水 ^{228}Ra 比活度和 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$) _{A.R.} 的变化.....	54
3.5 结语.....	56
第四章 北太平洋沉积物中放射性核素的含量与分布	57
4.1 引言.....	57
4.2 样品采集与分析	58
4.2.1 沉积物样品的采集与预处理.....	58
4.2.2 放射性核素的 γ 能谱测量.....	60
4.2.3 含水率和有机质含量的测定.....	62
4.2.4 孔隙度的计算.....	62
4.3 结果与讨论	62
4.3.1 东太平洋 CC 区沉积物中核素的含量.....	62
4.3.2 EPMC0301 站沉积物岩心核素的含量.....	73
4.3.3 EPMC0301 站沉积物岩心的沉积速率.....	77
4.3.4 EPMC0301 站沉积物岩心的生物扰动速率.....	81
4.4 结语.....	84
第五章 同安湾表层水 Ra、^2H、^{18}O 同位素的分布及其揭示的海底地	
下水输入.....	85
5.1 引言.....	85
5.1.1 研究意义.....	85
5.1.2 镭同位素及其应用.....	85
5.1.3 ^2H 、 ^{18}O 同位素及其应用.....	88
5.1.4 海底地下水研究现状.....	89
5.2 样品采集与分析	92
5.2.1 样品采集.....	92
5.2.2 样品测量.....	94
5.2.2.1 ^{224}Ra 测定	94

5.2.2.2	^{226}Ra 测定	94
5.2.2.3	^{228}Ra 测定	95
5.2.2.4	^2H 、 ^{18}O 测定	96
5.3	结果与讨论	99
5.3.1	^{224}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{226}Ra 、 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 及相关要素的含量与分布	99
5.3.2	厦门西海域海水入侵同安湾的同位素证据	107
5.3.3	同安湾海底地下水输入通量的计算	108
5.4	结语	115
第六章	结 论	116
6.1	热带与亚热带北太平洋表层水 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 的分布及其海洋学意义	116
6.2	北太平洋沉积物中放射性核素的含量与分布	117
6.3	同安湾表层水 Ra 、 ^2H 、 ^{18}O 同位素的分布及其揭示的海底地下水输入 ..	117
参考文献	.....	119
附录	.....	136
致谢	.....	137

Contents

Chinese Abstract	1
English Abstract	2
Chapter 1 General introduction	4
1.1 Radionuclides in marine environment	4
1.2 Radium geochemical behavior in marine environment	5
1.3 Application of Ra isotopes in marine environment	6
1.3.1 Specific activities and distributions of Ra isotopes	7
1.3.2 Geochemical behavior of Ra isotopes	8
1.3.3 Ra isotopes as tracers for physical oceanography	9
1.3.4 Sources, sinks and exchange fluxes of Ra isotopes	11
1.3.5 Ra isotopes as tracers for marine biological production	12
1.3.6 Ra isotopes as tracers for Submarine Groundwater Discharge	13
1.3.7 Ra isotopes as tracers for sediment geochemistry, marine chronology and sea-atmosphere exchange	14
1.4 Radionuclides in deep sea sediments	15
1.5 Objectives and contents of this study	15
Chapter 2 Methods	17
2.1 Enrichment methods of Ra in seawater	17
2.2 Analysis methods of Ra in seawater	17
2.2.1 Alpha-spectrometry	17
2.2.2 Beta counting	18
2.2.2 Gammar-spectrometry	18
2.3 ²²⁴Ra determination	19
2.3.1 ²²⁴ Ra determination procedure	19
2.3.2 Detection efficiency for ²²⁴ Ra	21
2.4 ²²⁶Ra determination	22

2.4.1	^{226}Ra determination procedure.....	22
2.4.2	Detection efficiency for ^{226}Ra	23
2.4.3	Enriched efficiency of MnO_2 -fibre for ^{226}Ra in seawater	24
2.5	^{228}Ra determination	25
2.6	Gamma analysis of sediments	29
Chapter 3 Distribution of surface ^{226}Ra and ^{228}Ra in the tropical and subtropical North Pacific and their implications		30
3.1	Introduction.....	31
3.2	Sample collection and analysis.....	35
3.2.1	Sample collection.....	35
3.2.2	Ra analysis	35
3.2.2.1	^{226}Ra measurement.....	35
3.2.2.2	^{228}Ra measurement.....	36
3.2.2.2	Silicate measurement	37
3.3	Results	41
3.3.1	Salinity and its spatial distribution.....	41
3.3.2	Specific activities and spatial distribution of ^{226}Ra	41
3.3.3	Specific activities and spatial distribution of ^{228}Ra	44
3.3.4	Spatial distribution of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{A.R.}}$	46
3.3.5	Silicate concentration and its spatial distribution	47
3.4	Discussion.....	47
3.4.1	Relationship between ^{226}Ra and silicate	47
3.4.2	^{226}Ra evidence for the ecosystem shift over the past 40 years in the North Pacific Subtropical Gyre	48
3.4.2.1	Temporal variations of ^{226}Ra specific activities over the past 40 years.....	50
3.4.2.2	Temporal variations of SiO_3^{2-} , PO_4^{3-} , Chl.a and primary production	51
3.4.2.3	Mechanism for the variation of ^{226}Ra over the past 40 years	53
3.4.2.4	The average declined rate of silicate over the past 40 years.....	53

3.4.3	Temporal variations of ^{228}Ra and $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{A.R.}}$	54
3.5	Conclusion	56
Chapter 4 Distributions of radionuclides in the sediments of the North Pacific		57
4.1	Introduction	57
4.2	Sample collection and analysis	58
4.2.1	Sample collection and pretreatment	58
4.2.2	γ spectrometer analysis	60
4.2.3	Measurements of water contents and organic contents	62
4.2.4	Measurements of porosity	62
4.3	Results and discussion	62
4.3.1	Specific activities of radionuclides in sediments from CC region in the East Pacific	62
4.3.2	Specific activities of radionuclides in the EPMC0301 sediment core	73
4.3.3	Sedimentary rate in the EPMC0301 sediment core	77
4.3.4	Bioturbation rate in the EPMC0301 sediment core	81
4.4	Conclusion	84
Chapter 5 Distributions of Surface Ra isotopes, ^2H and ^{18}O in the TongAn Bay and the estimates of Submarine Groundwater Discharge		85
5.1	Introduction	85
5.1.1	Objectives of this study	85
5.1.2	Ra isotopes and their application	85
5.1.3	^2H and ^{18}O isotopes and their application	87
5.1.4	Current research status of submarine groundwater discharge	89
5.2	Sample collection and analysis	92
5.2.1	Sample collection	92
5.2.2	Sample analysis	94
5.2.2.1	^{224}Ra measurement	94

5.2.2.2	^{226}Ra measuerment.....	94
5.2.2.3	^{228}Ra measurement.....	95
5.2.2.4	^2H and ^{18}O measurement.....	96
5.3	Results and discussion	99
5.3.1	Distributions of ^{224}Ra , ^{228}Ra , ^{226}Ra , δD and $\delta^{18}\text{O}$	99
5.3.2	Isotopic evidences for the intrusion of the West Bay waters into the TongAn Bay	107
5.3.3	Estimates of submarine groundwater discharge (SGD) into the Tongan Bay	108
5.4	Conclusion	115
Chapter 6	Summary	115
6.1	Distribution of surface ^{226}Ra and ^{228}Ra in the tropical and subtropical North Pacific and their implications	116
6.2	Distributions of radionuclides in the sediments of the North Pacific.....	117
6.3	Distributions of Surface Ra isotopes, ^2H and ^{18}O in the TongAn Bay and the estimates of Submarine Groundwater Discharge	117
References	.....	119
Appendixes	.....	136
Acknowledgements	.....	137

图目录

图 1-1	铀系、钍系、锕系放射性衰变示意图	4
图 2-1	连续射气闪烁法测量 ^{224}Ra 的示意图	20
图 2-2	^{228}Ra 分析流程示意图	26
图 2-3	所测标准溶液的计数率随时间的变化 (^{228}Ac 半衰期的测量)	28
图 3-1	北太平洋亚热带环流区示意图	31
图 3-2	北太平洋表层水 Ra 同位素采样站位分布图	34
图 3-3	DY105-12,14 航次北太平洋表层水盐度随经度的变化	41
图 3-4	(a) DY95-10 航次北太平洋亚热带环流区表层水 ^{226}Ra 比活度的空间分布; (b) DY105-12,14 航次北太平洋表层水 ^{226}Ra 比活度的空间分布	43
图 3-5	(a) DY95-10 航次北太平洋亚热带环流区表层水 ^{228}Ra 比活度的空间分布; (b) DY105-12,14 航次北太平洋表层水 ^{228}Ra 比活度的空间分布	45
图 3-6	(a) DY95-10 航次北太平洋亚热带环流区表层水 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 的空间分布; (b) DY105-12,14 航次北太平洋表层水 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 的空间分布	46
图 3-7	DY105-12,14 航次北太平洋表层水 SiO_3^{2-} 含量的空间分布	47
图 3-8	DY105-12,14 航次北太平洋表层水 ^{226}Ra 比活度与 SiO_3^{2-} 含量的关系	48
图 3-9	北太平洋亚热带环流区表层水 Ra 同位素采样站位分布	49
图 3-10	北太平洋亚热带环流区表层水 ^{226}Ra 比活度的历史变化	50
图 3-11	DY105-12,14 航次北太平洋亚热带环流区表层水 ^{226}Ra 比活度与 SiO_3^{2-} 含量的关系	51
图 3-12	近 40 年北太平洋亚热带环流区上层水体 SiO_3^{2-} 含量的历史变化	52
图 4-1	北太平洋沉积物岩心的采样站位分布	59
图 4-2	不同高度样品 γ 射线探测效率随能量的变化	61
图 4-3	WS0301-3 站岩心放射性核素含量的垂直分布	68

图 4-4	W2003-03-4 站岩心放射性核素的垂直分布	69
图 4-5	E2003-03-5 站岩心放射性核素的垂直分布	70
图 4-6	E2003-04-5 站岩心放射性核素的垂直分布	71
图 4-7	E2003-05-5 站岩心放射性核素的垂直分布	72
图 4-8	EPMC0301 站岩心放射性核素的垂直分布	76
图 4-9	EPMC0301 站沉积物岩心中 $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}$ 、 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ 比活度的垂直分布	78
图 4-10	EPMC0301 站沉积物岩心混合层中 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 比活度的垂直分布	82
图 5-1	海底地下水排放示意图	90
图 5-2	厦门同安湾采样站位的分布	93
图 5-3	同安湾表层水 S 的水平分布	100
图 5-4	同安湾表层水 ^{224}Ra (Bq/m^3) 的空间分布	102
图 5-5	同安湾表层水 ^{226}Ra (Bq/m^3) 的空间分布	102
图 5-6	同安湾表层水 ^{228}Ra (Bq/m^3) 的空间分布	103
图 5-7	同安湾表层水 ^{228}Th (Bq/m^3) 的空间分布	103
图 5-8	同安湾表层水 δD (‰) 的空间分布	104
图 5-9	同安湾表层水 $\delta ^{18}\text{O}$ (‰) 的空间分布	104
图 5-10	同安湾 Ra 同位素质量收支平衡的箱式模型	108
图 5-11	同安湾表层水 Ra 同位素比活度随盐度的变化	110

表目录

表 2-1	^{224}Ra 测量中闪烁室的装置系数 k_{224}	21
表 2-2	^{226}Ra 测量中闪烁室的装置系数 k_{226}	24
表 2-3	MnO_2 -纤维对海水镭同位素的富集效率	24
表 3-1	DY95-10 航次 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 比活度、 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}_{\text{A.R.}}$ 及硅酸盐浓度	38
表 3-2	DY105-12,14 航次 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 比活度、 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}_{\text{A.R.}}$ 及 SiO_3^{2-} 浓度	39
表 3-3	世界各海区表层水 ^{226}Ra 比活度	42
表 3-4	世界各海区表层水 ^{228}Ra 比活度	44
表 3-5	北太平洋亚热带环流区表层水中 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 平均比活度和 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}_{\text{A.R.}}$ 的历史变化	55
表 4-1	北太平洋沉积物岩心采样站位情况	59
表 4-2	WS0301-3 站岩心放射性核素的比活度 (Bq/kg)	65
表 4-3	W2003-03-4 站岩心中放射性核素的比活度 (Bq/kg)	65
表 4-4	E2003-03-5 站岩心中放射性核素的比活度 (Bq/kg)	65
表 4-5	E2003-04-5 站岩心中放射性核素的比活度 (Bq/kg)	66
表 4-6	E2003-05-5 站岩心中放射性核素的比活度 (Bq/kg)	66
表 4-7	东太平洋 CC 区沉积物岩心中的含水率、TOM 百分含量和孔隙度 ...	67
表 4-8	EPMC0301 站岩心放射性核素的含量	75
表 4-9	EPMC0301 站沉积物岩心的沉积速率 (mm/ka)	79
表 4-10	深海沉积物的沉积速率 (mm/ka)	80
表 4-11	不同海域沉积物的扰动速率 (cm^2/a)	83
表 5-1	同安湾采样时间、站位经纬度、水深、温度与盐度	97
表 5-2	同安湾采样站位表层水 ^{224}Ra 、 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 比活度及 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$	98
表 5-3	近岸海域表层水镭同位素比活度 (Bq/m^3)	105
表 5-4	九龙江河口区不保守镭同位素含量 (Bq/m^3)	111
表 5-5	近岸海域底部沉积物 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 的扩散通量 ($\text{Bq/m}^2/\text{d}$)	112
表 5-6	同安湾不同来源 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 的输入速率 ($\text{Bq/m}^3/\text{d}$)	113

表 5-7	厦门地区地下水 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 比活度和 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}_{\text{A.R.}}$	114
表 5-8	近岸海域海底地下水排放通量 (SGD) ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{a}$).....	114

厦门大学博士论文摘要库

摘 要

通过对北太平洋与同安湾表层水镭同位素 (^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{224}Ra) 含量与分布特征的研究, 将其具体应用于揭示北太平洋亚热带环流区生态系对全球变化的响应以及同安湾海底地下水输入的影响。此外, 借助北太平洋沉积物岩心放射性核素的分布, 计算岩心的沉积速率及生物扰动速率。研究获得如下主要结果:

北太平洋表层水 ^{226}Ra 比活度、 ^{228}Ra 比活度和 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 随经度的变化均不大, 且数值明显比河口港湾与边缘海的相应值来得低, 呈现开阔大洋水的典型特征。结合文献报道的研究海域 ^{226}Ra 、 SiO_3^{2-} 含量的历史数据, 证实北太平洋亚热带环流区表层水 ^{226}Ra 比活度在过去 40 年中呈现降低趋势, 反映了该海域生态系在全球变化背景下的响应, 其主要体现于水体层化作用的加强以及生物生产力的升高。

利用 γ 能谱方法分析了北太平洋沉积物岩心中放射性核素的含量, 揭示出这些核素 (^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{231}Pa 、 ^{228}Th 、 ^{238}U 、 ^{230}Th 和 ^{227}Ac) 的分布特征及相关的地球化学行为。由 $^{231}\text{Pa}_{\text{ex}}$ 法和 $^{230}\text{Th}_{\text{ex}}$ 法获得某岩心沉积物的沉积速率分别为 14.9 mm/ka 和 6.5 mm/ka; 通过 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 法计算出该站岩心混合层中的生物扰动速率为 7.16 cm^2/a 。

同安湾表层水 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{224}Ra 的比活度无法由河水与外海水的保守混合得到完全解释, 实测比活度均分布在河水与外海水的保守混合线之上, 说明同安湾表层水镭同位素存在除河水、外海水之外的其它来源。同安湾表层水体的高镭特征, 与同安湾的地理位置和水文学因素有关, 更重要的是富含镭的海底地下水的输入。利用 Ra 同位素质量收支箱式平衡模型, 计算获得同安湾海域海底地下水 ^{226}Ra 的输入量为 0.523 $\text{Bq}/\text{m}^3/\text{d}$, 海底地下水 ^{228}Ra 的输入量为 7.92 $\text{Bq}/\text{m}^3/\text{d}$, 由此估算出同安湾海底地下水的排放 (SGD) 速率为介于 0.3×10^7 – 1.3×10^7 m^3/d 。并圆满解释了此前该湾水文学研究所存在进出水量明显不平衡的问题。

关键词: 镭同位素; 分布特征; 海底地下水排放

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库